

第 I 部門

電縫鋼管を用いた鋼製橋脚の弾塑性挙動に関する解析的検討

大阪大学大学院工学研究科 学生員 ○市川 尚樹
 早稲田大学創造理工学部 正会員 小野 潔
 大阪大学大学院工学研究科 正会員 奈良 敬

1. 研究目的

切土や盛土が困難な山間部の急傾斜地の道路拡幅工事で使用されることのある多柱式ラーメン構造¹⁾では、橋脚としてSKKである電縫鋼管が用いられる場合がある。しかし、電縫鋼管を用いた鋼製橋脚の耐震性能について十分に明らかにされているとは言いがたく、より合理的な耐震設計を行うには、その弾塑性挙動を明らかにする必要がある。鋼製橋脚の耐震性能を明らかにする場合、実験だけでなく、弾塑性挙動に関する情報を幅広く収集するため弾塑性有限変位解析が行われることが多い。既往の研究^{2,3)}によれば、鋼材の塑性履歴特性を精度よく表現することができる構成則を用いた弾塑性有限変位解析により鋼製橋脚の弾塑性挙動を精度よく再現できることが明らかになっている。

本稿では、土木研究所等の共同研究で行われた正負交番载荷実験の結果を基に、弾塑性有限変位解析の解析結果と実験結果との比較により解析手法の妥当性検証を行い、パラメトリック解析により径厚比パラメータが電縫鋼管を用いた鋼製橋脚の弾塑性挙動に与える影響について考察を行った。

2. 材料試験

電縫鋼管素材の引張試験および繰り返し材料試験の結果を基に、既往の研究^{2,3)}で提案される構成則の材料定数を決定した。引張試験結果の公称応力-公称ひずみ関係を図-1に示す。なお、構成則に含まれる材料定数のうち、繰り返し载荷に関する材料定数については、十分な実験データが得られなかったため、今後、実施される材料試験結果を基に再検討する予定である。

3. 実験概要

3.1 実験供試体

表-1に実験供試体諸元および主な座屈パラメータを示す。実験供試体で用いた電縫鋼管はSKK490であり、表-1に示す座屈パラメータは降伏応力として公称降伏応力を用いて計算している。

3.2 载荷方法

実験は、供試体に降伏軸力の20%に相当する一定軸力を与えた状態で、正負交番の水平変位を与えて行った。水平変位の载荷パターンは、図-2に示すようにベルヌーイ・オイラーの梁理論より求まる降伏水平変位 δ_{0N} の整数倍を片振幅として、 $\pm 1\delta_{0N}$ 、 $\pm 2\delta_{0N}$ ・・・と、水平変位を漸増させたものである。なお、水平荷重 P_{0N} については道路橋示方書に記載されている軸方向力と曲げモーメントを受ける部材の座屈に対する安定の照査に関する式⁴⁾を基に決定した。

4. 解析概要

解析は、弾塑性有限変位解析プログラムCYNASを用いて行った。まずa)再現解析を行い実験結果との比較を行い解析手法の妥当性を検証し、b)パラメトリック解析を径厚比パラメータ $R_t=0.03, 0.05, 0.08$ の3パターンで行った。作成した解析モデルを図-4に示す。柱頂部の中心に鉛直荷重 N と水平方向の強制変位 δ を与えて解析を行った。また、柱断面に平均して荷重が作用するように、柱の上部には剛性の大きい要素を配置し、橋脚基部を細かく分割した。水

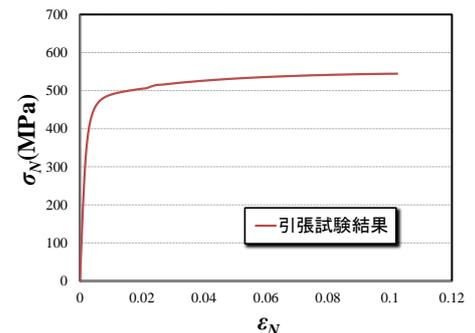


図-1 引張試験結果

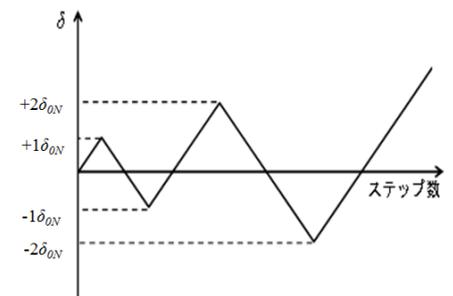


図-2 水平方向強制変位载荷パターン

表-1 実験供試体諸元

鋼種	外径(mm)	板厚(mm)	载荷点高さ(mm)
SKK490	323.9	14.3	1570
径厚比パラメータ		細長比パラメータ	
0.028		0.361	

平方向強制変位の荷重パターンについては実験と同様とした。初期不整に関して、柱全体系初期たわみと溶接シーム部周辺の残留応力を考慮した。柱全体系初期たわみは以下の式(1)のたわみ導入した。

$$w_G(X) = \frac{L}{1000} \left(1 - \sin\left(\frac{\pi X}{L}\right) \right) \quad (1)$$

式(1)の X 軸方向は柱方向を示す。また、図-4 に式(1)で表される初期たわみの模式図を示す。残留応力については、溶接シーム部に図-5 に示す既往の研究⁵⁾から得られたスパイラル鋼管の残留応力分布を導入した。

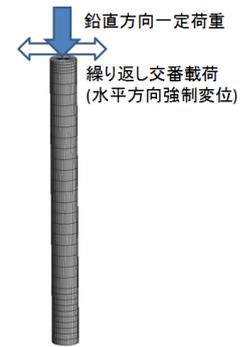


図-3 解析モデル図

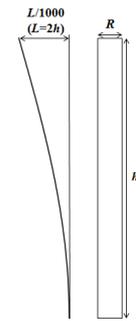


図-4 初期たわみ
模式図

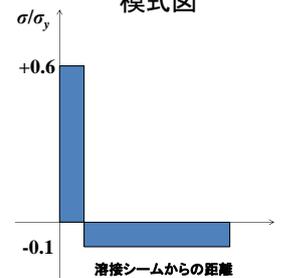


図-5 残留応力導入
パターン⁵⁾

5. 解析結果

a) 再現解析結果

図-6 に実験結果と解析結果の比較を示す。図-6 より、解析で実験の P-δ 関係を若干の誤差は見られるものの比較的精度良く表現できており、本解析手法は妥当であるといえる。

b) パラメトリック解析結果

パラメトリック解析結果から、径厚比パラメータ R_t が電縫鋼管を用いた鋼製橋脚の弾塑性挙動に与える影響を考察する。細長比パラメータ $\bar{\lambda}$ を一定 ($\bar{\lambda} = 0.361$) とし、径厚比パラメータ R_t を 0.03, 0.05, 0.08 と変化させた解析結果から得られた包絡線を比較して図-7 に示す。図-7 より、径厚比パラメータ R_t が大きくなるにつれて P_{max}/P_y , δ_m/δ_y とともに減少するという傾向が見られる。

6. まとめ

本稿では、電縫鋼管を用いた鋼製橋脚の弾塑性挙動を明らかにするため、正負交番荷重実験の再現解析による解析手法の妥当性検証およびパラメトリック解析を行った。以下にその結論を示す。

- ・ 解析で実験の P-δ 関係を若干の誤差は見られるものの比較的精度良く表現できており、本解析手法の妥当性を確認した。
- ・ 径厚比パラメータ R_t が大きくなるにつれて P_{max}/P_y , δ_m/δ_y とともに減少している。

今後、構成則に導入する材料定数、初期たわみや残留応力などの初期不整が電縫鋼管を用いた鋼製橋脚の弾塑性挙動に及ぼす影響について精緻な検証を行う予定である。

謝辞： 本稿で紹介させていただいた電縫鋼管の引張試験結果および正負交番荷重実験結果は、(国研) 土木研究所、(株) オリエンタルコンサルタンツおよび JFE シビル (株) の共同研究 (共同研究名：フーチングを有しない多柱式ラーメン構造の性能検証法) で行われたものです。実験データを提供いただきました関係各位に感謝の意を表します。

【参考文献】

- 1) 例えば、(株)JFE シビル株式会社, メタルロード工法: <http://www.jfe-civil.com/doboku/metalroad/>.
- 2) 西村宣男, 小野潔, 池内智行: 単調荷重曲線を基にした繰り返し塑性履歴を受ける鋼材の構成式, 土木学会論文集, No.513/1-31, pp.27-38, 1995.3.
- 3) AN EXPERIMENTAL STUDY ON MECHANICAL PROPERTIES AND CONSTITUTIVE EQUATION OF SBHS500, S.HASHIMOTO, K.ONO and S.OKADA, Proceedings of the 13th East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering and Construction(EASEC-13), 2013.09.
- 4) (社)日本道路協会: 道路橋示方書・同解説 II 鋼橋編, 2012.3.
- 5) 小野潔, 藪本篤, 秋山充良, 大西宵平, 白戸真大, 西村宣男: 軸圧縮力と 1 方向正負交番曲げを受けるスパイラル鋼管の耐震性能とその評価法, 土木学会論文集 F Vol.66 No.2, 301-318, 2010.6.

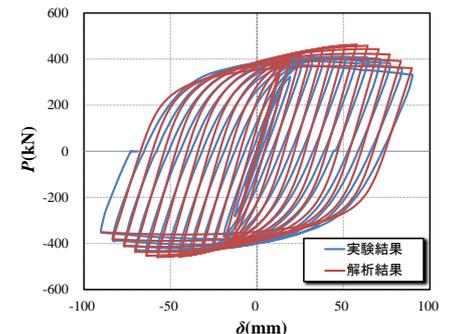


図-6 再現解析結果

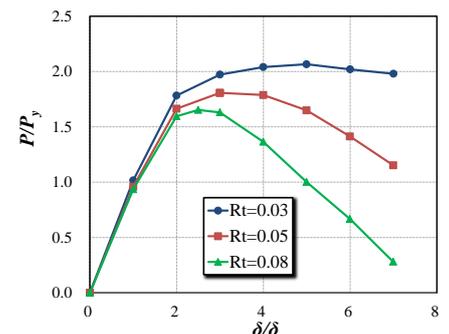


図-7 径厚比パラメータ R_t
による影響